

研究報告

ホワイソルガム粉のスポンジケーキへの利用に関する研究 (第1報)

Application of White Sorghum Flour for Sponge Cake

(Preliminary Report)

長坂慶子^{*1}

Keiko NAGASAKA

Keywords: *Sponge cake, White sorghum flour, Rice flour, Resistance stress, Sensory evaluation*
 スポンジケーキ、ホワイソルガム粉、米粉、圧縮抵抗応力、官能評価

1. はじめに

ホワイソルガムはイネ科モロコシ属のタカキビの一種で、アメリカではトウモロコシ、大豆、小麦に続く第4の穀物として注目されている。ホワイソルガムは、品種改良により雑穀特有の苦味やえぐ味が無く、色も白色から黄色の中間色でほとんど無味無臭なため食べやすくなっている。また、小麦のようにグルテンを含まないことから、小麦アレルギー症状を起こす人々には小麦代替穀物として利用されている¹⁾。さらに、小麦粉や精白米に比べて鉄、カリウム、ナイアシン、葉酸、ビタミンB₆、食物繊維など日本人に不足しがちな栄養素を豊富に含み²⁾、種子を包む外皮にアレルギー全般の症状を抑える有効成分が含まれている³⁾などこれまで知られていなかった様々な生体調節機能を持つことが明らかになっている。

本研究では、小麦アレルギーの人でも安心しておいしく食べられる菓子を作ることを目的とし、菓子の中でも利用範囲の広いスポンジケーキに着目した。スポンジケーキについては、これまで品質が高く美味しいスポンジケーキの調製について多くの研究⁴⁾がなされてきた。また、健康志向により機能性を有する食材を使ったスポンジケーキについての研究⁵⁾もなされている。しかし、薄力粉を全く使わず、ホワイソルガム粉のみでスポンジケーキを調製して検討した研究はみられない。今回の実験では、ホワイソルガム粉の基本的な特徴を知るために薄力粉、洋菓子材料として製粉された米粉で調製したスポンジケーキを比較対照として実験を行い、若干の結果を得たので報告する。

2. 実験方法

2.1 スポンジケーキの調製

(1) 材料

材料には、薄力粉(日清製粉(株)フラワー)、米粉((株)淡路製粉 白兎米粉ライスパウ)、ホワイソルガム粉((株)富澤商店)、グラニュー糖(三井製糖(株))、鶏卵((株)CGC ジャパン)、無塩バター(よ

つ葉乳業(株) 十勝牧場バター)、牛乳(小岩井乳業(株))、サラダ油(日清オイリオグループ(株))、粉末寒天(伊那食品工業(株)種助)を用いた。なお、粉末寒天はスポンジケーキの保水性を高め、生地焼き上がり後の焼き縮みを抑制するため⁶⁾に添加した。

材料の配合比率⁷⁾は、粉類60%、卵40%(卵黄16%、卵白24%)、砂糖24%、バター8%、牛乳4%とした。粉末寒天は全重量の0.9%量⁸⁾を添加した。

(2) 調製

スポンジケーキは共立法⁷⁾で調製した。ボールに裏漉した卵黄、卵白、グラニュー糖、粉末寒天を入れて泡立て器で軽く混ぜた。湯煎にかけ、静かに攪拌しながら人肌まで温め(36~37℃)、湯煎から外してハンドミキサー(MK-H3-P National)の高速で15分間攪拌した。ここに予め篩っておいた粉類を気泡の表面全体に散らすように入れて切るように混ぜた。さらに溶かしバターと牛乳を同様に生地全体に散らすように入れて混ぜた。この生地を直径15cmのケーキ型に流し込み、空気を軽く抜いてからオーブンレンジ(NE-N150 National)で180℃で23分間焼成した。焼き上がったスポンジケーキは型から外し、上下を返して室温で粗熱を取った。ビニル袋に入れて密封し、20℃で18時間放冷した。これを試料として測定に供した。

2.2 測定方法

(1) 比重

調製直後の生地をシャーレに充填し、ヘラですり切ったものの重量と同じシャーレに水を同様に入れたものの重量を測定し、生地の比重⁹⁾を求めた。

(2) 動的粘弾性

調製直後の生地を試料として動的粘弾性測定装置(レオログラフゾル 東洋精機(株))を用いて貯蔵弾性率 G' および損失弾性率 G'' を測定し、粘弾性要素を示す損失正接 $\tan \delta$ (G''/G')を算出¹⁰⁾した。周波数は3.0Hz、変位量は $\pm 100\mu\text{m}$ とし測定した。測定時の試料温度は約30℃であった。

*1 生活科学科食物栄養学専攻講師

(3) 比容積

スポンジケーキのクラムを2cmの立方体に切り、菜種置換法により体積を求め比容積 (cm^3/g) を算出¹¹⁾した。

(4) 色度

スポンジケーキを半分の高さに切り、切断面を色彩色差計 (SZ-Σ90 日本電色工業 (株)) を用いて L^* 、 a^* 、 b^* の値を測定し、明度、色相、彩度を評価¹²⁾した。

(5) 水分含量

スポンジケーキの水分含量を赤外線水分計 (FD-260 (株) ケット科学研究所) を用いて、常圧加熱乾燥法¹³⁾により 105°C で15分間加熱して測定した。測定には各スポンジケーキのクラムを約1cmの立方体に切ったものを約40g用いた。

(6) 圧縮抵抗特性値

スポンジケーキの圧縮抵抗応力を引張・圧縮型レオメーター (FUDOH レオメーター (株) レオテック) を用いて測定し、圧縮抵抗応力を算出¹⁴⁾した。測定は直径4cmのディスク型プランジャーが試料の高さの50%になるまで圧縮して測定した。測定にはスポンジケーキのクラムを2.5cmの立方体に切ったものを用いた。圧縮速度は $6.0\text{cm}/\text{min}$ とし、測定は 20°C で行った。

各測定値については、Excel 統計 2008 を用いて t 検定を行い、有意差を検定した。

(7) 断面観察

スポンジケーキの断面の観察を顕微鏡 (デジタルマイクロスコープ VH-Z450 (株) キーエンス) を用いて、倍率25倍で行った。観察にはスポンジケーキのクラムを $2.5 \times 2.5 \times 0.5\text{cm}$ に切ったものを用いた。

(8) 官能評価

ホワイトソルガム粉、米粉で調製したスポンジケーキの嗜好性を評価するために、7段階評価の2点比較法¹⁵⁾により官能評価を行った。評価の際には薄力粉で調製したスポンジケーキを基準とした。評価項目はクラムの色の白さ、におい、食べた時の硬さ、食べた時の弾力、食べた時のもちもち感、食べた時のしっとり感、食べた時の甘さ、総合的な好きさの8項目である。パネルは本学生活科学科食物栄養学専攻の学生20名である。結果については t 検定により有意差を判定した。

3. 実験結果と考察

3.1 生地特性

各生地の比重を Fig.1 に示した。ホワイトソルガム粉 (以下、ソルガム粉と記述する) で作った生地の比重は 0.58、薄力粉、米粉で作った生地の比重は 0.54 となり、ソルガム粉の比重が有意に大きくなり、薄力粉や米粉の生地のようにふんわり軽い生地ではなく、重たい生地になることがわかった。薄力粉と米粉で作った生地間に有意差は認められなかった。

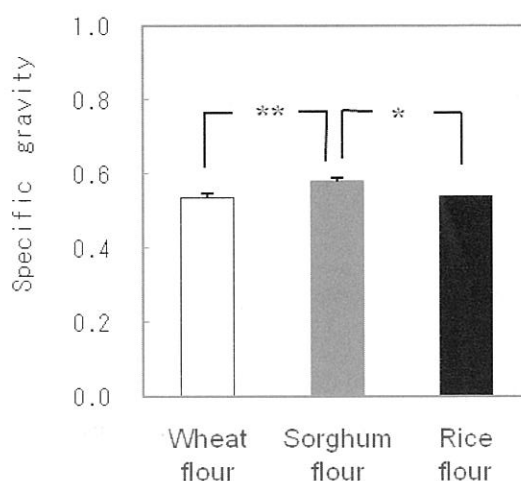


Fig.1 Specific gravity of the sponge cakes

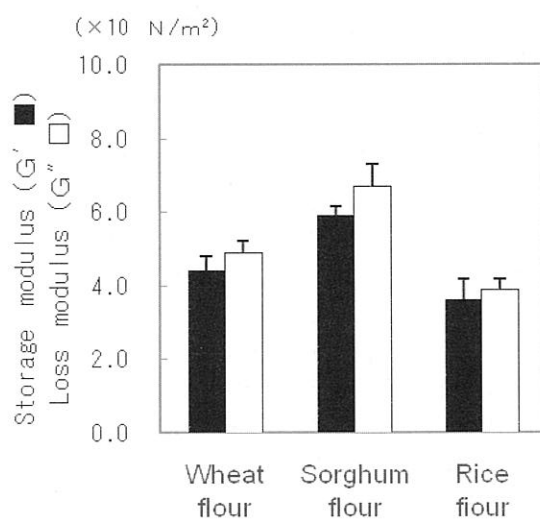


Fig.2 Dynamic viscoelasticity of the batters

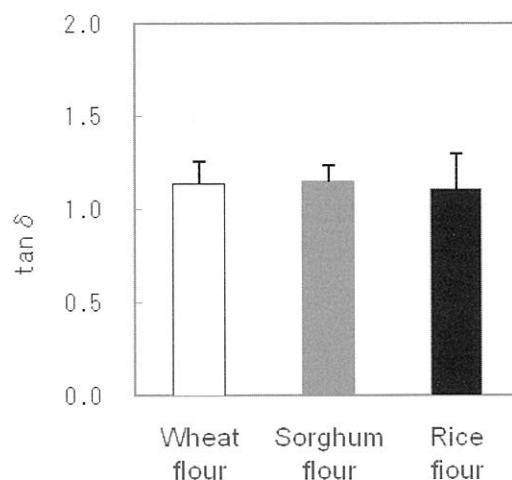


Fig.3 Tan δ of the cakes

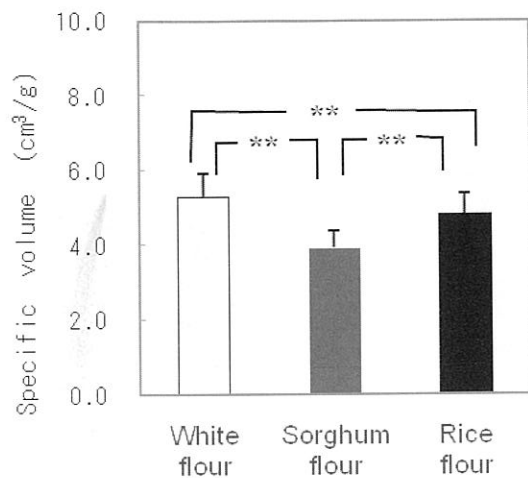


Fig.4 Specific volume of the sponge cakes

	Wheat flour	Sorghum flour	Rice flour
Lightness	84.1	73.4	88.8
Hue	0.3	0.4	0.1
Chroma	32.7	23.0	33.2

各生地の動的粘弾性の結果を Fig.2 に示した。貯蔵弾性率、損失弾性率は薄力粉は $4.4 (\times 10^3 \text{ N/m}^2)$ 、 $4.9 (\times 10^3 \text{ N/m}^2)$ 、ソルガム粉は $5.9 (\times 10^3 \text{ N/m}^2)$ 、 $6.79 (\times 10^3 \text{ N/m}^2)$ 、米粉は $3.6 (\times 10^3 \text{ N/m}^2)$ 、 $3.9 (\times 10^3 \text{ N/m}^2)$ となり、米粉、薄力粉、ソルガム粉の順に値は大きくなり、各生地間に有意差 ($p < 0.01$) が認められた。ソルガム粉の生地は硬く粘性が高く、米粉の生地は軟らかく粘性の低い生地になることがわかった。

各生地 $\tan \delta$ の結果を Fig.3 に示した。 $\tan \delta$ の値は $1.11 \sim 1.15$ の間にあり、各生地間に有意差は認められなかった。

各生地それぞれの貯蔵弾性率、損失弾性率の値には違いは見られるが、粘弾性比には大きな差が無いことがわかった。

3.2 スポンジケーキの特性

スポンジケーキの比容積の結果を Fig.4 に示した。薄力粉 $5.27 (\text{cm}^3/\text{g})$ 、ソルガム粉 $3.92 (\text{cm}^3/\text{g})$ 、米粉 $4.81 (\text{cm}^3/\text{g})$ となり、ソルガム粉、米粉、薄力粉の順にケーキの比容積は大きくなり、各ケーキ間に有意差 ($p < 0.01$) が認められた。

生地の比重が大きく、貯蔵弾性率および損失弾性率の高いソルガム粉のケーキの比容積は小さく、膨らま

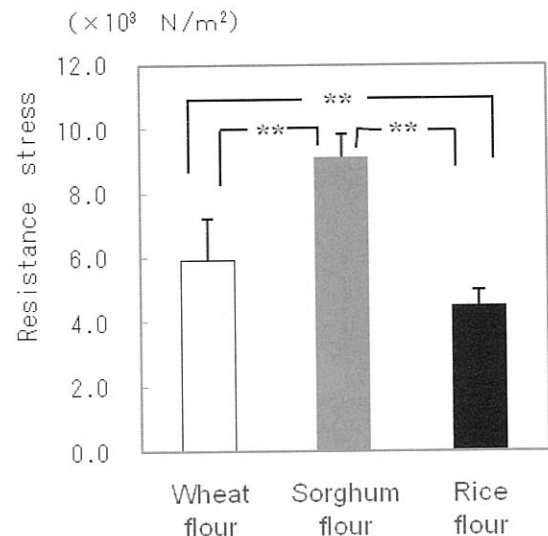


Fig.5 Resistance stress of the sponge cakes

なかった。しかし、薄力粉の生地と比重がほとんど変わらず、貯蔵弾性率および損失弾性率が最も低かった米粉のケーキの比容積は薄力粉のケーキに比べ小さく、薄力粉のように膨らまないことがわかった。

スポンジケーキの断面の色度の結果を Table.1 に示した。米粉のケーキは最も明度が高くなり、色度、彩度についても高い値を示した。米粉のケーキは色の白いケーキになり、ソルガム粉のケーキは灰色のくすんだ色のケーキになると評価された。

スポンジケーキのクラムの水分含量は、薄力粉は $16.03 \pm 0.21\%$ 、ソルガム粉は $14.03 \pm 0.32\%$ 、米粉は $16.87 \pm 0.15\%$ となり、ソルガム粉、薄力粉、米粉の順に水分含量は高くなった。調製前の粉自体の水分含量が薄力粉 14.0% 、ソルガム粉 12.5% 、米粉 15.5% であり、もともとソルガム粉の水分含量は低く、焼成後のスポンジケーキの水分含量にも同様の傾向があらわれたと考えられる。

スポンジケーキの圧縮抵抗応力の結果を Fig.5 に示した。ケーキの抵抗応力は、薄力粉は $5.91 (\times 10^3 \text{ N/m}^2)$ 、ソルガム粉は $9.12 (\times 10^3 \text{ N/m}^2)$ 、米粉は $4.52 (\times 10^3 \text{ N/m}^2)$ となり、米粉、薄力粉、ソルガム粉の順に高くなり、各ケーキ間に有意差 ($p < 0.01$) が認められた。ソルガム粉のケーキは抵抗応力が顕著に高くなり、硬いことが示された。薄力粉のケーキは比容積の値が大きいことから、抵抗応力が最も小さくなると予想されたが、今回の実験では米粉のケーキの抵抗応力の方が低く、最も軟らかいことが示された。藤井ら¹⁶⁾ は、比容積の大きかった薄力粉よりも比容積の小さかった米粉を用いたスポンジケーキの方が抵抗応力が大きくなったことを報告しているが、本実験では逆の

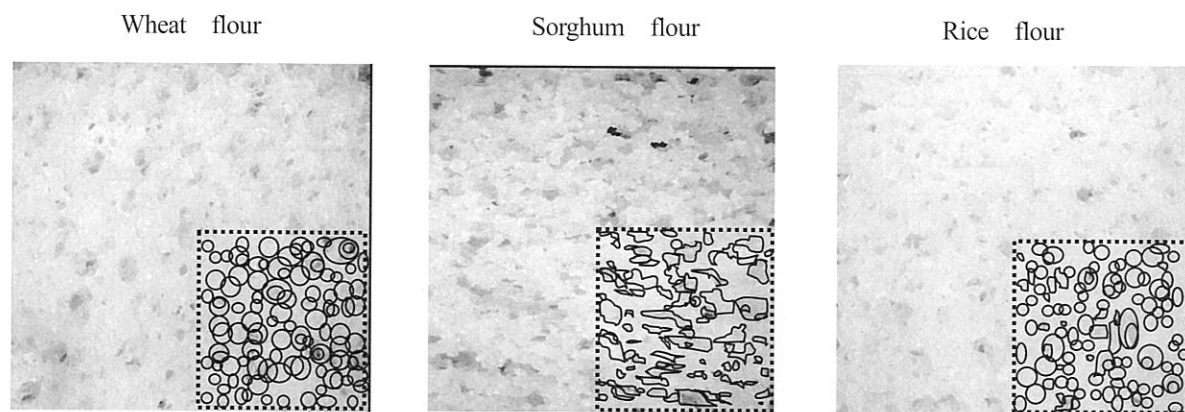


Fig.6 Cross section images of the sponge cakes

結果となった。

スポンジケーキの断面の写真を Fig.6 に示した。気孔の形状や数、気孔壁の厚さなどをわかりやすくするため、断面図の一部の気孔を○で囲んでいる。薄力粉のケーキの断面（左図）には、大小様々な大きさの球状の気孔が多数見られ、さらにその気孔が連続して形成されていることが観察された。米粉のケーキの断面（右図）には、薄力粉に比べ数は少ないが大小様々な球状あるいは楕円状の気孔が観察された。また、気泡と気泡が連なった不定形の気孔も少し観察された。米粉のケーキの気孔と気孔の間の壁は、薄力粉のケーキの気孔壁に比べ厚くなっているように見られた。ソルガム粉の断面（中央図）には、形状が一定しない気孔が多数観察された。薄力粉や米粉のケーキのように球形あるいは楕円形の独立した形の気孔はほとんど見られなかった。気孔壁は気孔と気孔がつながって崩れて塊状になり連なっている様子が観察された。

スポンジケーキは、卵と砂糖、小麦粉を主材料とし、膨化剤は原則として用いず、卵の起泡性とその安定性を利用して多量の気泡を抱き込ませた生地（バター）に小麦粉を混和することによって気泡の周囲にデンプンを分散させて生地を調製する。これをオーブンで加熱膨張させると、デンプンの糊化にともなって気泡が固定化されて気孔となり、スポンジ状の気孔構造が形成される。そのスポンジ組織は細かく、均一でふんわりした軟らかい口触りが特徴である¹⁷⁾。

藤井ら^{18, 19, 20)}は、小麦粉（薄力粉）、小麦デンプン、ジャガイモデンプンの3種類の粉でスポンジケーキを調製し、その気孔構造の形成を比較検討している。ジャガイモデンプンはデンプン粒の粒径が小麦粉デンプンの粒径よりも大きく、小麦粉デンプンバター中の気泡に見られるような、気泡の表（球）面全体がデンプン粒におおわれる現象は見られず、デンプン粒が気泡と気泡の間に寄り合う状態が観察される。また、小麦デンプンのように気泡の表面にデンプン粒が整然と

配列した状態を保持していないため気泡膜の気密性は低い。そのため、加熱により気泡の膨張速度が速くなり変形して球形を維持するのが難しく、破泡や合一が生じやすい。その結果気泡数が減少する。さらに、加熱が終了して変形した状態で膨張が停止し、その状態で放冷されると次第にケーキ全体が収縮し、変形を生じながら気泡膜が糊化していくため、独立した形の気孔の形成が一層困難な状態となり、変形した気泡が相互に密着して組織構造は層状となることを報告している。

藤井らの報告を今回の実験結果にそのまま適応して考察することはできない。しかし、現象としては同じことが起きているのではないかと考えられる。すなわち、薄力粉や米粉で調製した生地を例にと考えると、気泡の表面全体がデンプン粒子で均一におおわれ、密集して安定していたため、ソルガム粉の生地比べて比重は小さく動的粘弾性の値も小さかったと考えられる。さらに、薄力粉や米粉で調製した生地の気泡は、加熱により膨張するが、気泡の表面全体がデンプン粒子でおおわれているため膨張はゆっくりとした速度で進み維持された。このことが気泡の過剰な膨張を抑制する傾向になり、気泡の破泡や合一が生じにくくした。加熱後に収縮し気泡膜が糊化しても、気孔は球形を保つことができ、気孔構造が形成されてスポンジ状の組織が得られた。そのため、ケーキの比容積は大きくなり、圧縮抵抗応力の値は小さくなったと考えられる。一方、ソルガム粉はジャガイモデンプンと同様の理由により、組織がスポンジ状にならず層状になったためケーキの比容積は小さく、圧縮抵抗応力の値が高くなったと考えられる。

今回の実験では各粉のデンプン粒径、気泡とデンプン粒の挙動などを測定してはいないが、使用している米粉は製菓用として小麦粉粒子の約半分の超微細粒子にしているため、ソルガム粉ほどは気泡が潰れたり変形したりせずに球状の気孔が形成されていたと考えら

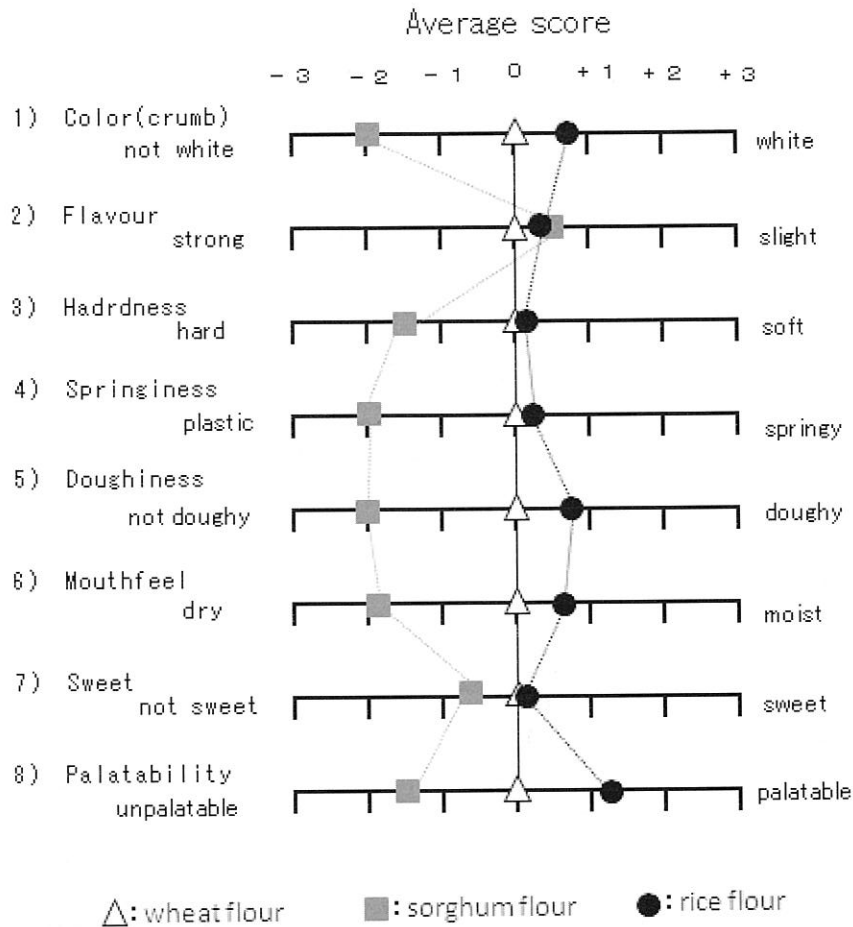


Fig.7 Results of sensory evaluation of the sponge cakes

れる。ソルガム粉は製菓用粉末として販売されているものではあるが、出来上がったケーキは他の粉で調製したケーキとは性状が異なっていた。ソルガム粉を薄力粉と同様の材料と方法でケーキを調製しても同等のものを得ることは難しい。米粉に比べて安価に入手でき、小麦代替粉として期待されているソルガム粉で、気泡膜が均一で気密性を保ち、加熱時に気泡が合ったり破泡することなく膨張する生地を調製できるような添加材料と調製方法を検討する必要がある。

ソルガム粉、米粉で調製したスポンジケーキの嗜好性を評価するために官能評価を行い、その結果を Fig.7 に示した。評価の際には薄力粉で調製したスポンジケーキを基準とした。Fig.7 では 0 のところに相当する。

ソルガム粉のケーキは米粉のケーキに比べ、色が白くない ($p < 0.01$)、食べた時に硬い ($p < 0.01$)、弾力が無い、($p < 0.01$)、もちもち感が無い、($p < 0.01$)、ぼそぼそしている ($p < 0.01$)、スポンジケーキとして好ましくない ($p < 0.01$) と評価された。おいと甘さの項目には有意差は見られなかった。

官能評価の結果から、ソルガム粉のケーキは灰色の

ようなくすんだ色をしていて、食べた時に硬く、ボロボロして、乾燥しているような食感を与えることがわかった。色が白くないのは明度および彩度の値が低いこと、食べた時に硬いのは圧縮抵抗応力が高いこと、食べた時に弾力性がないのは比容積が小さいこと、食べた時に乾燥しているように感じるのは水分含量が少ないことや組織構造の粗さなどに対応すると考えられる。一方、米粉のケーキは基準にした薄力粉のケーキに近い評価となり、総合的な好ましさでは、薄力粉のケーキよりも高い評価を得た。しかし、米粉のケーキは、色が白っぽく、もちもちした食感で、しっとりしている (多湿) という評価もあり薄力粉のケーキとは食味がやや異なることがわかった。

本研究では、ホワイトソルガム粉を使って小麦アレルギーの人でも安心しておいしく食べられる菓子を作することを目的とし、菓子の中でも利用範囲の広いスポンジケーキに着目した。薄力粉を全く使わず、ホワイトソルガム粉のみでスポンジケーキを調製し、薄力粉、製菓用米粉で調製したスポンジケーキと比較しながら、ホワイトソルガム粉の可能性を検討した。その結果、

薄力粉や米粉に比べるとホワイトソルガム粉をスポンジケーキの材料として使用するには改善しなければならない点が多々あることがわかった。ホワイトソルガム粉が小麦アレルギーの原因となるグルテンを含まないこと、私達が普段の食事では不足しがちな栄養素を豊富に含んでいること、様々な生体調節機能が期待されることは、製菓材料用粉としては他の粉には見られない有益な特性である。

今後は、今回の実験で比較用のスポンジケーキの粉として利用した米粉との混合を端緒として、ホワイトソルガム粉のスポンジケーキへの利用をさらに検討していきたい。

4.要約

ホワイトソルガム粉のスポンジケーキ材料としての利用を、薄力粉、製菓用米粉で調製したスポンジケーキと比較しながら検討した。

1. ホワイトソルガム粉で調製した生地は、薄力粉、米粉で調製した生地のようにふんわり軽く、やわらかい生地ではなく、重くて硬い粘性のある生地になった。

2. ホワイトソルガム粉で調製したスポンジケーキは、薄力粉、米粉で調製したスポンジケーキのように白色で、よく膨らむやわらかいケーキではなく、灰色で、膨らみの小さい硬いスポンジケーキになった。

3. ホワイトソルガム粉で調製したスポンジケーキの組織は、薄力粉、米粉のスポンジケーキに見られるような球状の気孔が多数見られるスポンジ状の構造ではなく、不定形の気孔があり、気孔と気孔がつながって塊状になって、層状の組織構造であることが観察された。

4. ホワイトソルガム粉で調製したスポンジケーキは、灰色のようなくすんだ色をしていて、食べた時に硬く、ボロボロして、乾燥しているような食感を与えることがわかった。

最後に官能評価の実施の際に御協力いただいた岩崎恵さん、漆原恵さん、都鳥未地さん、永田早織さんに感謝します。

参考文献

- 1) 中野産業株式会社 HP-グルテンアレルギーの強い味方・ホワイトソルガム
<http://www.w-sorghum.com/>
- 2) 五訂補食品成分表 2007、女子栄養大学出版部
- 3) 愛媛新聞「アレルギー抑制動物実験で確認 小麦代替ホワイトソルガム」(2008/12/08) より
- 4) 例えば
・市川朝子(2008)、日本調理科学会誌、41、pp71-78

- ・楠瀬千春(2004)、日本調理科学会誌、37、pp135-142
- ・越智知子(1989)、調理科学、22、pp84-93、pp272-277
- ・市川朝子、佐々木市枝、佐々木由美子、中里トシ子(1988)、日本家政学会誌、39、pp829-837
- ・川染節江、山野善正(1986)、家政学雑誌、37、pp759-766
- ・川染節江、山野善正(1986)、日本家政学会誌、37、pp559-566 など
- 5) 例えば
・平尾和子、木村由里子、五十嵐喜治(1998)、日本食品科学工学会誌、45、pp692-699
- ・T.Ichikawa,Y.Mitsumura,Y.Yasuda and M.Shimomura(1997) *Food Sci. Technol.Int.*,3, pp122-126
- ・市川朝子、三ツ村由香里(1996)、日本家政学会誌、47、pp445-452
- ・市川朝子、荒木千佳子(1992)、日本調理科学会誌、25、pp207-215 など
- 6) 埋橋祐二、滝ちづる(2005)、日本調理科学会誌、38、pp292-297
- 7) エコール辻東京製菓研究室編：お菓子の学校1 スポンジケーキ、pp8-11、学習研究社(2006)
- 8) 伊那食品工業株式会社「種助を使用したパータ・ジェノワーズの作り方」より
- 9) 長尾慶子、香西みどり編著：調理科学実験、p9(2009)、建帛社
- 10) 赤羽ひろ、中浜信子(1989)、調理科学、22、pp37-46
- 11) 大羽和子、川端晶子編著：調理科学実験、p12(2003)、学建書院
- 12) 平井敏夫：「色彩管理の基礎と色差計の活用」日本電色工業株式会社(1983)(非売品)
- 13) 福場博保、宮川金二郎共編：調理科学実験ハンドブック、pp7-9(1986)、建帛社
- 14) 赤羽ひろ、中浜信子(1989)、調理科学、22、pp173-182
- 15) 古川秀子：おいしさを測る、pp29-49(1994) 幸書房
- 16) 藤井恵子、高橋貞幸、木内留美子(2000)、日本食品科学工学会誌、47、pp363-368
- 17) 島田淳子、下村道子編：調理科学講座 植物性食品I、pp118-137(1994)、朝倉書店
- 18) 藤井淑子、団野源一(1988)、日本食品工業学会誌、35、pp684-690
- 19) Toshiko FUJII, Sumiko NAGAI, Chiharu KUSUNOSE and Hiroshi MATSUMOTO, (1995) : *J. Cookery Sci. Jpn.*, 28, pp237-246
- 20) 田村咲江監修：食品・調理・加工の組織学、pp33-42(1999)、学窓社